

Odolnost zubů a zubních implantátů proti vysoké teplotě a chemikáliím

Anotace: V článku je popsán vliv teploty a chemikálií na zuby a zubní implantáty. Zjišťovaná rezistence je důležitá v případech, kdy je tělo oběti pachatelem spáleno, nebo na něj působí chemikálie, kyseliny nebo louhy. Na vzorcích byly prováděny testy teplotní odolnosti při teplotách 300 °C, 600 °C a 900 °C. Chemikálie byly použity HF, H₂SO₄, 10 % NaOH a nasycený roztok NaOH.

Klíčová slova: trasologie, zuby, zubní náhrady, teplotní odolnost, chemická odolnost.

Úvod

Zuby v antropologii jsou považovány za znaky druhého řádu, tj. znaky, z kterých lze závěr označit za pravděpodobný či možný, pouze ve spojení se znakem stejného řádu. V průběhu lidského života proběhne jedna důležitá změna chrupu. V období prvního stupně základní školy se mění dočasný (mléčný) chrup v chrup stálý. V tomto rozlišujeme čtyři typy zubů – řezáky, špičáky, zuby třenové a stoličky. Dočasný chrup se od chrupu stálého liší v několika znacích. Hlavní rozdíl je v počtu zubů, dočasný chrup obsahuje 20 zubů, kdežto chrup trvalý obsahuje zubů 32. Dále se liší ve tvaru a velikosti. Mléčný chrup obsahuje korunky menší a mnohem náchylnější k abrazím (obroušení zubní korunky). Barevně jsou taktéž rozdílné, dočasný chrup má zbarvení mléčně bílé až namodralé, kdežto chrup trvalý spíše nažloutlé¹.

Stopy zubů řadíme mezi trasologické stopy, chrup osoby je významný také pro identifikaci osoby podle kosterních pozůstatků.² Forenzní odontologie může poskytnout informace zejména v případech, kdy jsou kosterní ostatky ve značném stádiu rozkladu a nemají identifikační hodnotu. Zuby jsou nejpevnější částí svalově kosterního aparátu. Z jejich tvaru, umístění, stomatologických zásahů, implantátů aj. lze provést ztotožnění s pohřešovanou osobou. Stomatologické záznamy a rentgenové snímky pořízené zaživa mohou poskytovat hodnotný materiál pro komparaci³.

Snahou při zkoumání kosterních nálezů je získat informace o původu, věku a pohlaví. O původu podává informace mutilace, tj. znetvoření těla umělým zásahem. U některých kultur je z historie známo upravování chrupu například zdobením drahými kameny či zlatem, pilováním nebo vyrážením zubů. Například Pygmejové upravovali své přední zuby do zahroceného tvaru. V dnešní době je toto velmi vzácné. Za zmínku, co se týče historie, určitě taktéž stojí změny chrupu vlivem povolání, poškození frontálních zubů v důsledku přidržování potřebného předmětu. V dnešní době je taktéž možno nalézt takovéto případy. Například abraze frontálních zubů od dýmky silného kuřáka nebo držení štětce u malíře. Co se týče určení pohlaví, lze při kompletním zachování lebky správně určit z 92 %. Jde-li o určení pohlaví, vyšetřovatel se zaměřuje převážně na řezáky a špičáky. Jsou zde rozdíly velikostí mezi muži a ženami. I když, jak známo, že ženy o svůj chrup pečují více než muži, přesto zuby mají větší náchylnost ke kazům a následné extrakci. Dále, jestliže je nalezena v chrupu úprava povahou kosmetického hlediska, i tam, kde to nebylo zcela nutné, lze toto

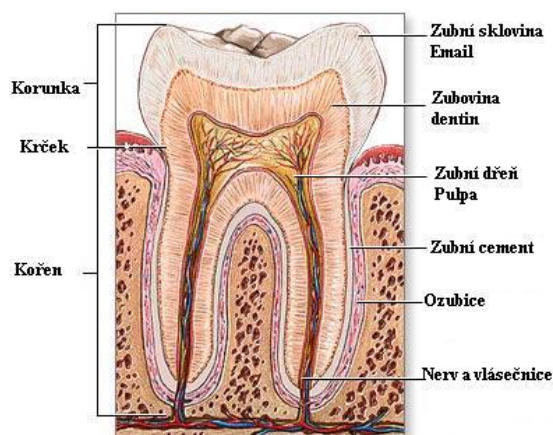
¹ FIALA, B. *Identifikace osob podle chrupu*; Státní zdravotnické nakladatelství: Praha, 1968.

² STRAUS, J., PORADA, V. *Trasologie*.

³ STRAUS, J. a kol. *Úvod do kriminalistiky*. Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o. Plzeň, 2012.

taktéž přisuzovat ženě. Všechny tyto výše uvedené poznatky jsou spíše pro vyšetřovatele východiskem pro další zkoumání⁴.

Z pohledu kriminalistiky jsou mezi stomatologické znaky řazeny zuby (tvrdé i měkké tkáně zubu), čelisti, měkké tkáně dutiny ústní a artefakty vzniklé stomatologickým ošetřením.



Obrázek 1 Struktura zubu⁵.

Struktura zubu

Lidský chrup je tvořen třemi rozdílnými tvrdými tkáněmi, a to skloviny, dentinu a cementu. Uvnitř zubu je dřevná dutina, která obsahuje zubní dřeň. Vlastní upevnění zubu v kosti zajišťuje vazivová tkáň, která je složena z gingivy, epitelového úponu, periodontálního ligamenta, lamina dura zubního lůžka a z cementu, který pokrývá povrch kořene. Na zubu jako celku rozlišujeme tři části – korunku, kořen a krček. Korunka je ta část, která je viditelná v dutině ústní a kořen je naopak část, která kotví zub v zubním lůžku kosti. Přejít mezi korunkou a kořenem tvoří krček. Povrch korunky tvoří sklovina. Sklovina obsahuje mnoho minerálních látek, proto je odolná vůči vysokým tlakům⁶.

Faktem je, že nemohou existovat dva totožné chrupy, což je doloženo matematickým výpočtem. Výpočtem bylo dokázáno 601 000 000 kombinací pro 1. kvalitu, ale když bychom uvažovali například kvality 3 (kaz, zbarvení zubů, extrakce), dostaneme tak mnohem vyšší číslo. V běžné praxi se však nemůžeme omezit pouze na jedinou kvalitu. Předmětem dalšího šetření musí být anatomické detaily, anomálie, zubní kazy a jejich ošetření, pevné protetické náhrady, jako jsou můstky a korunky, snímací náhrady, stomatologické zákroky a změny chrupu způsobené věkem⁷.

Teplotní odolnost zubů a protetických náhrad

V kriminální praxi občas nastanou situace, že pachatele se snaží tělo oběti spálit nebo rozpustit v chemikáliích. Takové případy byly popsány i v naší kriminalistice⁸.

Stomatologické znaky jsou velmi odolné vůči nejrůznějším znehodnocujícím jevům, zejména vůči hnilobě, mechanickému poškození nebo teplotě. Nejméně rezistentní jsou měkké tkáně, ale zato ostatní markanty jsou identifikovatelné i dlouho po smrti.

⁴ HUTÁK, J. *Výukový atlas zubů člověka*. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav antropologie, 2011.

⁵ Struktura zubu. <http://primumnonnocere.blog.cz/1002/chrup> (accessed May 23, 2016).

⁶ NEDOROST L. *Atlas histologie tvrdých tkání*. Lékařská fakulta v Plzni, Univerzita Karlova v Praze: Plzeň, 2009.

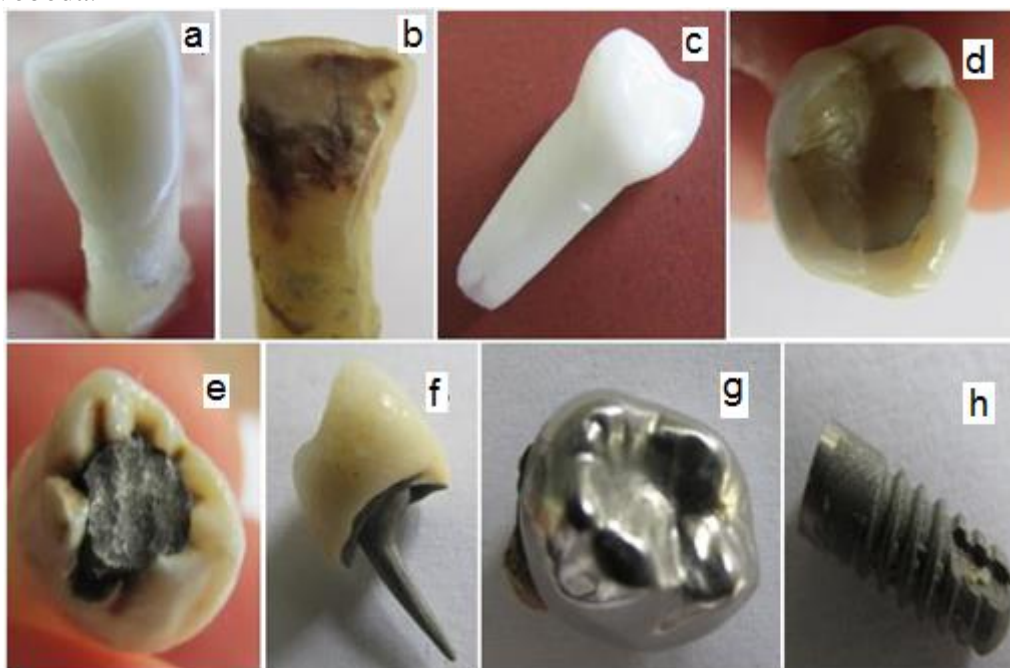
⁷ FIALA, B. *Identifikace osob podle chrupu*. Státní zdravotnické nakladatelství: Praha, 1968.

⁸ Např. kauza Čubírková nebo kauzy Orlické vraždy.

Odolnost zubů a stomatologických materiálů vůči vysokým teplotám byla prokázána již v roce 1903. V rozmezí 100 – 400 °C se objevují trhlinky ve sklovině a v kořenovém cementu, 200 – 250 °C nastávají barevné změny, do teplot 550 – 600 °C zůstává tvar zubu ještě zachován,

a okolo 1300 °C dochází k úplné deformaci zubu, což je označováno jako dekrystalizace. Když je shrnuta odolnost těchto materiálů vzhledem k teplotě, a to odolnost přes 1200 °C, za nejodolnější je považována stomatologická slitina obsahující platinu, stomatologický porcelán a slitiny oceli. Amalgám je již méně odolný. Většina provizorních výplní vydrží teploty okolo 300 °C.

Teplotní odolnost zubů a zubních náhrad jsme experimentálně prověřili⁹. Vzorky zubů a zubních implantátů byly získány ze stomatologické ordinace, jednalo se např. o čerstvě vytržené lidské zuby. Vzorky byly postupně zahřáty na teploty 300 °C, 600 °C a 900 °C, poté byla zkoumána jejich odolnost. Teplotní i chemická odolnost byla prověřena c rámci zpracování bakalářské práce na Vysoké škole chemicko-technologické, vedoucím této práce byl autor tohoto článku¹⁰. Zuby byly již předem vysušeny a vydezinfikovány, což má určitý vliv na výsledek. Zahřívání jsme prováděli v peci kelímkové a manuální od firmy Elektrické pece Svoboda.



Obrázek 2 Zdravý (a), zkažený (b), mléčný (c), bílá plomba (d), černá plomba (e), keramická korunka (f), kovová korunka (g), implantát (h).

Zkoumali jsme zub zdravý, zkažený, mléčný, zub s černou (amalgámovou) plombou, zub s bílou plombou. Ze zubních náhrad jsme použili keramickou a kovovou korunku a implantát. Nejprve bylo zdokumentováno, jak vypadají jednotlivé vzorky na začátku před testováním. Zdravý zub byl nepoškozený. Zkažený zub měl kaz přes celou vnitřní stranu zubu. Mléčný zub byl nepoškozený a ze všech zubů nejbělejší. Bílá a černá plomba byla vždy usazena na žvýkací plošce zubu.

⁹ STAPAJOVÁ, M. *Forenzní stomatologie – Odolnost zubů a zubních implantátů*. Bakalářská práce (vedoucí J. Straus). Praha: VŠCHT, 2016.

¹⁰ STAPAJOVÁ, M. *Forenzní stomatologie – Odolnost zubů a zubních implantátů*. Bakalářská práce (vedoucí J. Straus). Praha: VŠCHT, 2016.

Poté byly všechny vzorky zahřáty na 300 °C a ponechány na této teplotě 30 minut. Při tomto zahřívání byl cítit zápach typu spálených tkání. Po vytažení z pece byl tento zápach přisuzován zuhelnatěným kořenům u všech zubů.

U zdravého zubu po působení teploty 300 °C bylo možné pozorovat změnu barvy. Zub se zbarvil do hnědo-žluté, blíže ke kořenu zub tmavnul. Vnitřní strana byla taktéž tmavší, ale toto mohlo být způsobeno polohou zubu v peci. Při této teplotě již vznikla řada trhlinek. Trhlinky se objevovaly převážně na vnější straně a byly všechny směřované od zkusné plošky ke kořenu zubu. Uprostřed vznikla jedna velká trhlinka, která vzápětí zub rozdělila na dvě části.



Obrázek 3 Zdravý zub po působení 300 °C.

Zkažený zub taktéž po působení 300 °C vykazoval změny barvy. Vnější strana byla zbarvena do žluto-hnědé, v místě kazu bylo zbarvení černé. Na pohled vnitřní strana s kazem vypadala zuhelnatělá. Bylo zde možné vidět i drobné vodorovné rýhy.



Obrázek 4 Zkažený zub po působení 300 °C.

Mléčný zub byl po působení teploty 300 °C nejtmaší, zbarven spíše do hněda. U tohoto zubu se objevilo po působení této teploty nejvíce trhlinek, které byly jak vodorovné, tak svislé.



Obrázek 5 Mléčný zub po působení 300 °C.

Zub s bílou plombou vykazoval taktéž změnu barvy, ale jak zubu, tak i plomby. Zub, stejně jako ostatní, se zbarvil do žluto-hnědé, avšak plomba změnila barvu z bílé na černou. Trhlinky vznikaly spíše ve sklovině zubu, avšak pár se jich objevilo i v plombě.



Obrázek 6 Zub s bílou plombou po působení 300 °C.

U zubu s černou plombou po působení 300 °C, stejně jako u ostatních, došlo ke změně barvy. Barva skloviny byla tmavší, trhlinky vodorovné. Část zubu se odloupala. Plomba na tomto zubu byla beze změny, tudíž nebylo na ní možné pozorovat žádné změny struktury či barvy.



Obrázek 7 Zub s černou plombou po působení 300 °C.

Keramická korunka po vytažení z pece byla na nějakých místech lehce zčernalá. Toto zbarvení lze přisuzovat otisku od jiného zubu, protože v peci jsme je zahřívaly po třech vzorcích. Když je toto zbarvení pomínuto, tak keramická korunka nejevila žádné známky trhlinek ani jiného poškození.



Obrázek 8 Keramická korunka po působení 300 °C.

Působení 300 °C na kovové korunce nezanechalo žádné stopy. Tato korunka byla i po působení této teploty beze změny.



Obrázek 9 Kovová korunka po působení 300 °C.

Implantát při působení této teploty zachoval tvar, jen vrchní vrstva začala postupně korodovat, avšak samotný implantát byl nepoškozený.



Obrázek 10 Implantát po působení 300 °C.

Poté byly vystaveny teplotě 600 °C, po dobu 30 minut. Při této teplotě došlo k úplné deformaci, a tedy k neidentifikovatelnosti zdravého, mléčného zubu a zubu s bílou plombou. Z těchto tří vzorků byl zub s bílou plombou v nejhorším stavu.



Obrázek 11 Zub zdravý (a), mléčný (b) a zub s bílou plombou (c) po působení 600 °C.

Po působení 600 °C zkažený zub jako jediný ze zubů zůstal vcelku. Došlo k další barevné změně, tentokrát se zbarvil do šedé.



Obrázek 12 Zkažený zub po působení 600 °C.

Zub s černou plombou se po působení 600 °C sice rozpadl, ale černá plomba zůstala v zachovalém stavu.



Obrázek 13 Zub s černou plombou po působení 600 °C.

Keramická korunka po působení 600 °C byla krásně čistá, barva zmizela, neměla žádné rýhy, jen tam, kde bylo předtím černé zbarvení, byl nyní zdrsňen povrch. Tvar byl opět zachován.



Obrázek 14 Keramická korunka po působení 600 °C.

Kovová korunka po působení 600 °C změnila pouze barvu. Tvar byl stále stejný, bez žádných známek poškození.



Obrázek 15 Kovová korunka po působení 600 °C.

Implantát po působení 600 °C měl stále zachovalý tvar, jen byla více poznamenaná vrchní vrstva. Na některých částech vrchní vrstva úplně vymizela.



Obrázek 16 Implantát po působení 600 °C.

Na 900 °C byl již zahříván pouze zkažený zub, černá plomba, keramická korunka, kovová korunka a implantát. Ostatní vzorky se rozpadly při 600 °C.

Zkažený zub po této teplotě byl velice křehký. Po vyjmutí z pece se vzápětí vrchní vrstva (sklovina) odloupla.



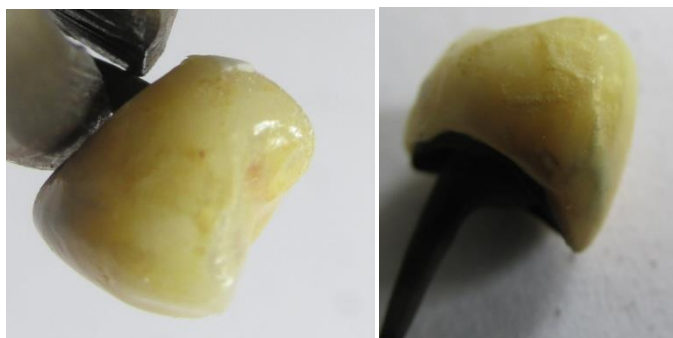
Obrázek 17 Zkažený zub po působení 900 °C.

Černá plomba byla i po působení 900 °C stále stejná, tedy beze změny.



Obrázek 18 Černá plomba po působení 900 °C.

Po působení 900 °C se v keramické korunce začaly objevovat trhlinky. Barevně byla sytější žlutá. Tvar byl stále zachován.



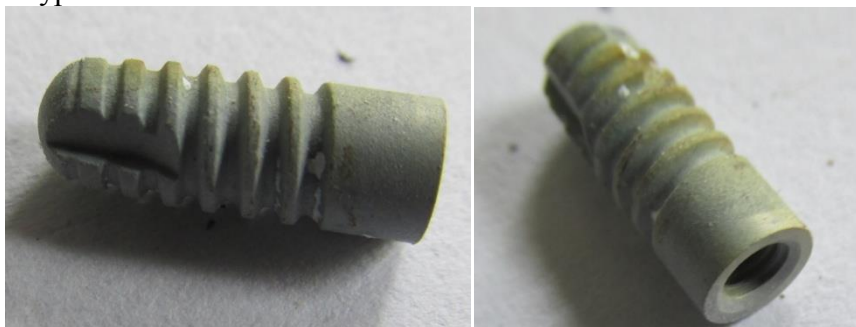
Obrázek 19 Keramická korunka po působení 900 °C.

Kovová korunka při této teplotě stále držela svůj tvar. Opět došlo ke změně barvy, tentokrát byla šedo-zlatá. Povrch až při této teplotě zmatněl.



Obrázek 20 Kovová korunka po působení 900 °C.

Po působení 900 °C titanová struktura implantátu byla zachována, jen povrch implantátu byl vypálen.

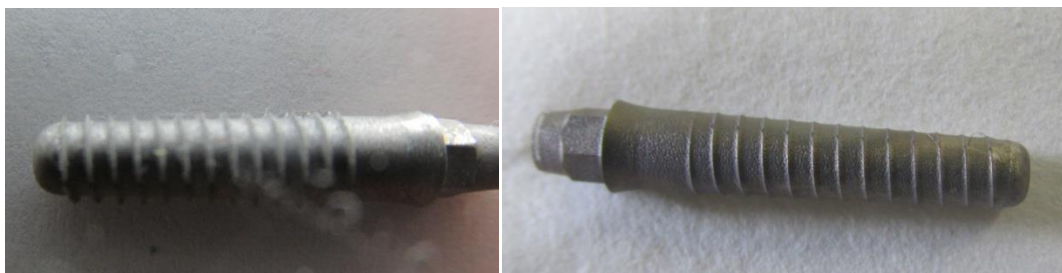


Obrázek 21 Implantát po působení 900 °C.

Chemická odolnost zubních implantátů

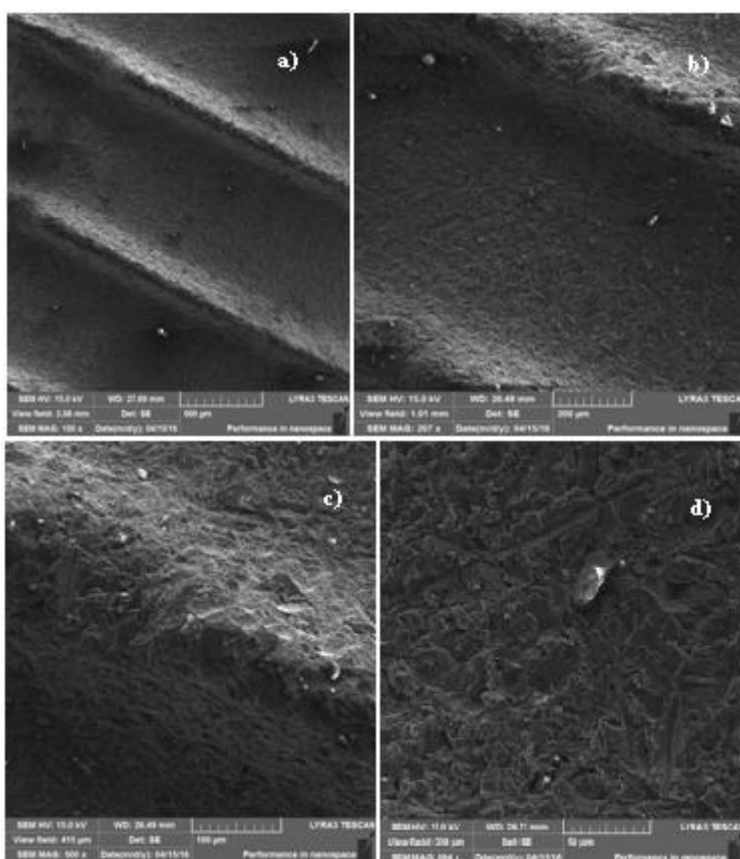
Na zjištění chemické odolnosti byly použity chemikálie HF, H₂SO₄, 10 % NaOH a nasycený roztok NaOH. Zkoumání chemické odolnosti bylo provedeno v laboratořích Vysoké školy chemicko-technologické v Praze¹¹. Vložení implantátu do HF (obr. 22) proběhla velice bouřlivá reakce, kdy během 1 minuty zmizel závit. Po hodině již nebyl k nalezení ani implantát.

¹¹ STAPAJOVÁ, M. *Forenzní stomatologie – Odolnost zubů a zubních implantátů*. Bakalářská práce (vedoucí J. Straus). Praha: VŠCHT, 2016.



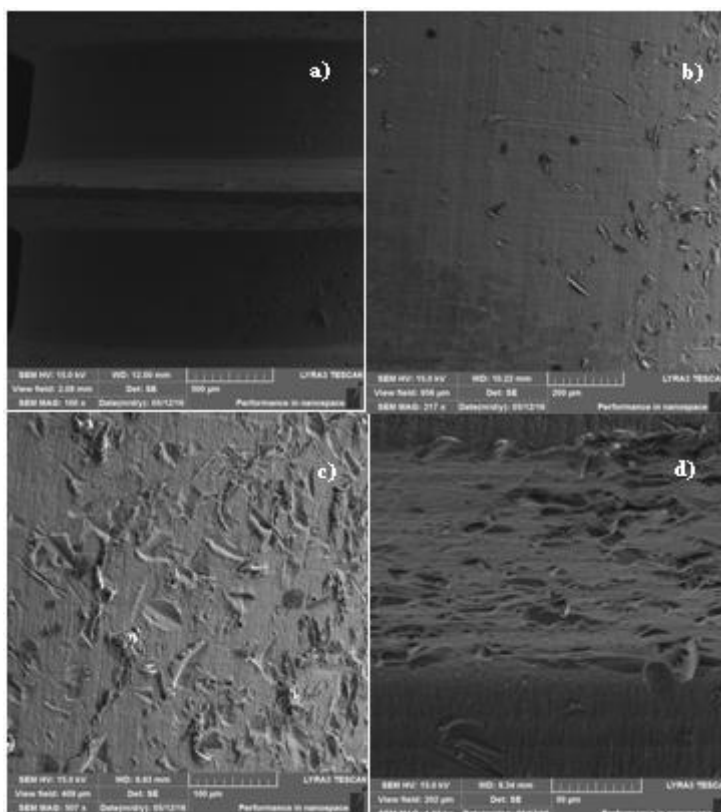
Obrázek 22 Implantát před působením a po působení HF.

V ostatních chemikáliích byly implantáty ponechány 24 hod. Poté na nich pouhým okem nebyla viditelná změna, proto jejich podrobnější struktura zkoumána na Lyra tescan rastrovacím elektronovém mikroskopu. Na obrázcích je vidět struktura implantátu před vložením do chemikálií.



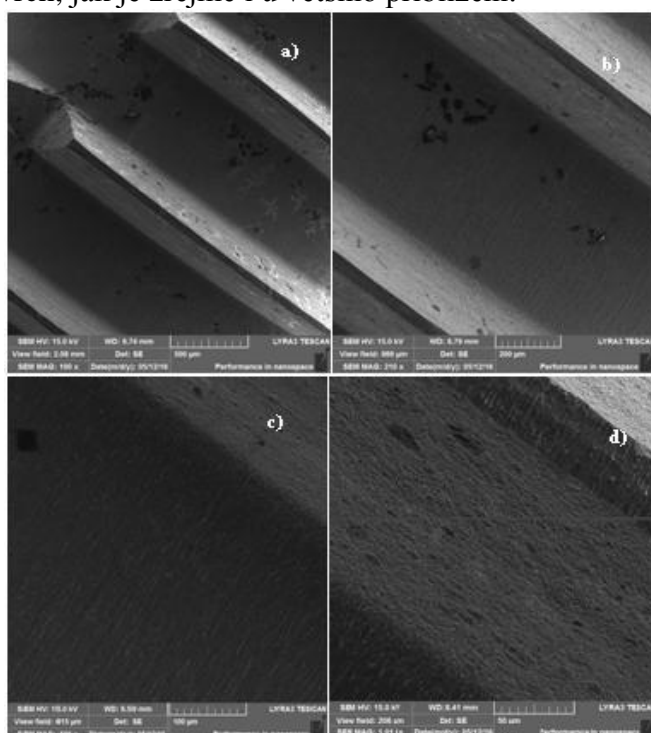
Obrázek 23 Implantát bez působení chemikálie, přiblížení 100x (a), přiblížení 200x (b), přiblížení 500x (c), přiblížení 1000x (d)

Implantát v 10 % NaOH. Působení 24 h 10 % NaOH způsobilo zjemnění povrchu, ale jak je vidět na obrázku při 500x přiblížení, drobné rýhy tam stále jsou.



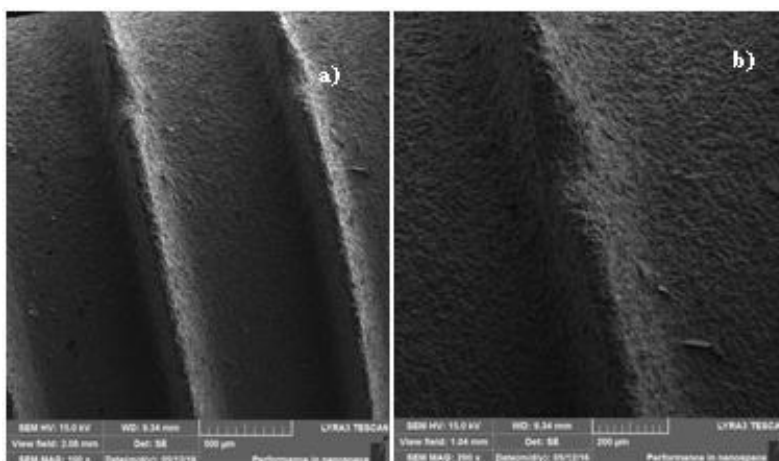
Obrázek 24 Implantát po působení 10 % NaOH, přiblížení 100x (a), přiblížení 200x (b), přiblížení 500x (c), přiblížení 1000x (d).

Implantát v nasyceném roztoku NaOH po působení 24 h. U tohoto působení lze říci, že dokonale vyhladil povrch, jak je zřejmé i u většího přiblížení.



Obrázek 25 Implantát po působení nasyceného roztoku NaOH, přiblížení 100x (a), přiblížení 200x (b), přiblížení 500x (c), přiblížení 1000x (d).

Implantát po působení koncentrované H_2SO_4 po 24 h. Tento povrch je nejvíce zvrásněný a hrubý. Toto se dalo předpokládat, protože samotná kyselina sírová se používá ve výrobním procesu k naleptání povrchu, a tím k jeho zdrsnění, aby při aplikaci lépe vrostl do kosti.



Obrázek 26 Implantát po působení koncentrované H_2SO_4 , přiblížení 100x (a), přiblížení 200x (b), přiblížení 500x (c), přiblížení 1000x (d).

Výsledky a diskuze

Byly porovnány různé typy zubů a náhrad při působení různých teplot. A dále byly pozorovány změny na implantátech po působení chemikálií. V souhrnu lze uvést veškeré výsledky provedených měření, výsledky jsou přehledně uvedeny v tabulce 1. Z těchto údajů plyne, že v kategorii zubů byl zdravý zub nejméně odolný. Byl zčásti znehodnocen již při 300 °C. Ostatní zuby byly stále v kompletním stavu, oproti tomu zkažený zub byl nejodolnější, což bylo neočekávané zjištění. Tento zub zvládl i teplotu 900 °C. Ze zubních náhrad byla překvapující bílá plomba, která byla téměř nedetekovatelná již při 600 °C. U ostatních náhrad se předpokládalo, že vyšší teploty vydrží, což bylo také potvrzeno.

Implantáty byly ponechány 24 h v různých chemikáliích 10 % NaOH, nasyceném roztoku NaOH a koncentrované kyselině sírové. Po vyjmutí nebyly na implantátech okem pozorovatelné změny. Pod mikroskopem již pozorovatelné změny byly. Nejhladší povrch měl implantát po působení nasyceného roztoku NaOH a nejvíce zdrsňený povrch měl implantát po působení koncentrované kyseliny sírové. U všech těchto typů byla však pouze lehce pozměněna struktura povrchu, ale implantát zůstal jako celek nedotčený, tudíž je stále 100 % identifikovatelný. K totální destrukci došlo vložení implantátu do koncentrovaného roztoku HF. Toto se dalo předpokládat, protože použitý implantát byl z titanu.

Tabulka 1 Přehled veškerých změn při teplotách 300 °C, 600 °C a 900 °C.

	300 °C	600 °C	900 °C
Zdravý zub	Kořen zuhelnatělý, změna barvy, vznik trhlinek	Část zuhelnatělá, rozpadlý na několik částí, další barevná změna	
Zkažený zub	Kořen zuhelnatělý, v místě kazu taktéž zuhelnatěno, změna barvy, drobné rýhy	Zůstal v celku, barevná změna	Křehký, ihned se vrchní vrstva odloupla

Mléčný zub	Kořen zuhelnatělý, změna barvy, četné trhlinky	Rozpad, není identifikovatelný	
Zub s bílou plombou	Kořen zuhelnatělý, změna barvy jak zubu, tak plomby	Rozpad, není identifikovatelná	
Zub s černou plombou	Kořen zuhelnatělý, změna barvy, vznik trhlinek, plomba beze změny	Zub v okolí se rozpadl, plomba v zachovalém stavu	Beze změny
Keramická korunka	Hladká, beze změny	Tvar zachován, žádné rýhy, čistá	Tvar zachován, změna barvy, vznik trhlinek
Kovová korunka	Beze změny	Změna barvy	Tvar zachován, změna barvy
Implantát	Beze změny	Lehce oprýskaná vrchní vrstva, jinak beze změny	Tvar zachován, povrch zničen

Závěr

Na základě pokusu dle experimentální části bylo zjištěno, že všechny určující markanty chrupu nejsou znehodnoceny do teploty 300 °C. Další zvedání teploty do 600 °C vedlo k znehodnocení většiny použitých typů nespravovaných zubů a bílé výplně. Při teplotách mezi 600 °C – 900 °C došlo pouze k nepatrným změnám dosud nepoškozených zubních náhrad, které však nezabraňují použití těchto náhrad k identifikaci. Na základě těchto pozorování lze říci, že lidské zuby (mléčné, zdravé, zkažené) mají nižší odolnost vůči teplotě než zubní náhrady a výplně. Výjimku tvoří bílá výplň, která měla stejnou odolnost jako zuby.

Chemická odolnost byla zjišťována pouze na implantátech, jakožto nejodolnějších zubních náhrad. Nejrychlejší známky koroze byly pozorovány v HF, kdy během minuty byl pouhým okem pozorovatelný úbytek kovu. V H₂SO₄ a 10 % NaOH a nasyceném roztoku NaOH nebyly ani po 24 hodinách okem pozorovatelné změny povrchu kovu. Na základě těchto pozorování lze označit zubní implantáty jako chemicky odolné, výjimku však tvoří HF.

Literatura

- ABRAHAM, C. M. A Brief Historical Perspective on Dental Implants, Their Surface Coatings and Treatments. *Open Dentistry Journal* 2014, 8, 50 – 55.
- BITTNER J. *Stomatologické protézy I a II*. Avicenum, zdravotnické nakladatelství, 1980.
- FIALA, B. *Identifikace osob podle chrupu*. Státní zdravotnické nakladatelství: Praha, 1968.
- HUTÁK, J. *Výukový atlas zubů člověka*. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav antropologie, 2011.
- NEDOROST L. *Atlas histologie tvrdých tkání*. Lékařská fakulta v Plzni, Univerzita Karlova v Praze: Plzeň, 2009.
- PAZDERA, J. *Základy ústní a čelistní chirurgie*. Univerzita Palackého v Olomouci, Lékařská fakulta: Olomouc, 2011.
- STAPAJOVÁ, M. *Forenzní stomatologie – Odolnost zubů a zubních implantátů*. Bakalářská práce (vedoucí J. Straus). Praha: VŠCHT, 2016.
- STRAUS, J. a kol. *Úvod do kriminalistiky*. Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o.: Plzeň, 2012.

SULLIVAN RM. Implant dentistry and the concept of osseointegration: A historical perspective. J Calif Dent Assoc 2001; 29:737-45.

Struktura zubu. <http://primumnonnocere.blog.cz/1002/chrup> (accessed May 23, 2016).

Keywords: forensic science of imprints, teeth, dentures, temperature resistance, chemical resistance

Summary

Teeth and dentures are significant objects of forensic research. The article describes the influence of temperature and chemicals on teeth and dental implants. The detection of resistance is important in cases when a victim's body has been burned or treated with chemicals, acids or alkalis. The experimental part describes the heat endurance of dentures and dental implants. The results achieved in the course of the measuring process were compared with the heat endurance of human teeth. Chemical endurance is dealt with afterwards. Dentures, dental implants and human teeth were heated to 300°C, 600°C and 900°C. Chemical substances used for the chemical endurance tests were hydrofluoric acid, sulphuric acid, a 10% solution of sodium hydroxide and a saturated solution of sodium hydroxide.

*prof. PhDr. Jiří Straus, DrSc.
Institut kriminalistiky, forenzních disciplín a
kriminologie
Vysoká škola finanční a správní Praha, z.ú.
e-mail: straus@email.cz*

*Bc. Michaela Stapajová
Vysoká škola chemicko-technologická
Fakulta potravinářské a biochemické
technologie
Ústav analytické chemie
Praha*

Recenzent: Ing. Ondrej Laciak, PhD.